DIE NATURWISSENSCHAFTEN

WOCHENSCHRIFT FÜR DIE FORTSCHRITTE DER NATURWISSENSCHAFT, DER MEDIZIN UND DER TECHNIK

HERAUSGEGEBEN VON

DR. ARNOLD BERLINER UND PROF. DR. AUGUST PÜTTER

Siebenter Jahrgang. 7. März 1919. Heft 10.

Die geophysikalischen Messungen des Barons Roland v. Eötvös.

Von Obergeophysiker Dr. Desider Pekár, Budapest.

Gelegentlich des siebzigsten Geburtstages des Barons *Roland v. Eötvös* erschien im vorigen Jahrgange dieser Zeitschrift ein kurzer Artikel von *Karl Tangl*, der die hervorragendsten Details der wissenschaftlichen Wirksamkeit des ausgezeichneten ungarischen Physikers besprach und sich etwas eingehender mit seinen Untersuchungen über die Gravitation befaßte. Mit Berufung auf das dort Ausgeführte möchte ich die geophysikalischen Messungen *Eötvös'* etwas eingehender besprechen.

Den Kern dieser Untersuchungen bilden *die Messungen mit der Eötvös'schen Drehwage*, sie werden organisch ergänzt durch *Gravitationsbeobachtungen, die mit den bisher gebräuchlichen Methoden an einigen Orten ausgeführt* wurden. Außerdem haben wir an den Orten, wo Messungen mit der Drehwage vorgenommen wurden, stets auch *die erdmagnetischen Elemente* bestimmt, an einzelnen Orten sogar auch ausführlichere erdmagnetische Aufnahmen durchgeführt. —

Das Grundprinzip der Untersuchungen *Eötvös'* über die Gravitation liegt darin, *daß zur Bestimmung der räumlichen Variationen der Schwerkraft die Drehwage dient.* Bei der praktischen Durchführung dieses Prinzips gründet *Eötvös* seine spezielle Untersuchungsmethode auf eine doppelt gefestigte Basis, und zwar einesteils gefestigt durch die präzise Analyse der physikalisch-mathematischen Theorie seiner Arbeitsweise, andernteils durch die Konstruktion eines zweckentsprechenden, fast unglaublich empfindlichen Instrumentes. Auf diese Weise hat die aus der Rumpelkammer der Physiker hervorgeholte Drehwage unter seinen Händen Wunder gewirkt. Zuerst ermöglichte sie der Wissenschaft die Lösung bisher unangreifbarer physikalischer Probleme; in ihrer neuesten Anwendung sodann gibt sie als zauberkräftige Wünschelrute dem praktischen Geologen bei der Erforschung des Erdinneren Auskunft.

Die ersten derartigen Messungen wurden natürlich im Laboratorium vorgenommen; alsdann folgten einzelne Probemessungen am Sághegy im Jahre 1891, ferner am Fuße des Gellérthegy, in Budapest sowie an einigen Stellen in der Umgebung. Die erste ausführlichere Aufnahme machten wir im Jahre 1901 auf dem Eise des Balatonsees. Seither sind die ausführlichen Aufnahmen in stetem Flusse, und zwar in stets erweitertem Umfange. Bis 1907 ermöglichte die generöse Unterstützung *durch die Ung. Akademie der Wissenschaften und durch* Herrn *Dr. Andor Semsey* die Durchführung dieser Messungen; seitdem ist ihre Fortsetzung durch reichliche materielle Unterstützung durch den ungarischen Staat gesichert. Die Aufnahmen im Freien, die Leitung der zu diesem Zweck organisierten Messungsexpeditionen ist von Anfang an meine Aufgabe gewesen.

Zur Kenntnis der Schwerkraft ist die Ermittlung zweier ihrer Elemente erforderlich, und zwar ihre *Richtung* und *Größe*.

Die Richtung der Schwerkraft ist durch das Lot gegeben. Auch die Libelle bestimmt im Prinzip die gleiche Richtung. Bekanntlich weist das Lot nicht genau nach dem Erdmittelpunkt, da die Umdrehung der Erde es von dieser Richtung etwas ablenkt. Außerdem sind in der Richtung des Lotes auch noch andere Unregelmäßigkeiten vorhanden, deren Ursachen wir später besprechen. Diese Unregelmäßigkeiten werden *Lotabweichungen* genannt, und ihre Bestimmung geschieht durch entsprechende *astronomische und geodätische* Messungen.

Die Größe der Schwerkraft wird durch die auf die Masseneinheit wirkende Kraft, das Grammgewicht definiert, und dies Gewicht pflegt man in geeigneten unveränderlichen Einheiten, den CGS-Einheiten, in Dyns auszudrücken. *Die Größe der Schwerkraft wird gewöhnlich mit dem Pendel bestimmt.* Schwingt nämlich dasselbe unveränderte Pendel an verschiedenen Orten, so ist aus den verschiedenen Schwingungsdauern die Verschiedenheit der Schwerkraft an den einzelnen Orten zu bestimmen. Geht man von einem genau bestimmten absoluten Werte aus, so sind sämtliche absolute Werte selbst auf dieser Grundlage berechenbar.

Führt man solche Messungen aus, so kommt man zu dem Resultat, daß die Schwerkraft an den verschiedenen Punkten der Erde eine verschiedene ist. Betrachten wir in ihren Hauptzügen die Ursachen dieser Änderungen!

Die Schwerkraft ist bekanntlich keine einfache Kraft, sondern die *Resultierende zweier anderen Kräfte, der Anziehung und der infolge der Rotation der Erde entstehenden Zentrifugalkraft.* Die Wirkung der *Anziehungskraft* zwischen den Körpern ist unabhängig von der materiellen Beschaffenheit derselben. Ihr Gesetz hat *Newton* festgestellt, wonach:

$$P = f \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

wo P die Anziehungskraft, m_1 und m_2 die auf einander wirkenden Massen, r den Abstand derselben und f einen Proportionalitätsfaktor, *die Gravitationskonstante* bedeutet, deren Wert auf experimentellem Wege genau bestimmt:

$$f = 0\,000\,000\,066\,3\ \text{CGS} = 66 \cdot 3.10^{-9}\ \text{CGS}.$$

Aus dem Attraktionsgesetz erhellt unmittelbar, daß die Schwerkraft auf der Erdoberfläche der Höhe entsprechend sich ändert, und zwar mit zunehmender Höhe abnimmt.

Die *Zentrifugalkraft* ist bekanntlich proportional dem Radius der Rotation; an den Polen somit gleich 0, am Äquator am größten, und zwar beträgt sie dort ungefähr $^1/_{300}$ der Anziehungskraft. Diese Kraft kommt sowohl der Richtung als der Größe nach stets in Abzug von der Anziehungskraft, weshalb auch die Schwerkraft von den Polen dem Äquator zu fortlaufend abnimmt.

Die bisher angeführten Abweichungen bilden die sozusagen regelmäßigen, *normalen Variationen der Schwerkraft.* Dazu kommen noch andere *unregelmäßige Abweichungen*, die aus den Unebenheiten der Erdoberfläche und aus der Verschiedenheit der Gesteinsarten resultieren. Die Erdoberfläche ist nämlich nicht glatt, sondern teils eben, teils gebirgig, ferner in ihrer Zusammensetzung nicht homogen, sondern in ihrem Inneren wechseln Schichten von verschiedener Dichte mit einander. Daß die sichtbaren Erhebungen der Erdoberfläche, die Berge, Gravitationsstörungen verursachen, ist seit langem bekannt. In der Nähe großer Gebirgsmassen wurde beobachtet, daß das Lot den Bergen zu abgelenkt wird, die Richtung der Schwerkraft sich also ändert. Diese Wirkungen sind auf Grund der Attraktion unmittelbar verständlich. Ähnliche Störungen bewirken aber auch die unter der Erdoberfläche liegenden, verschieden dichten Schichten. Es ist nämlich bekannt, daß die Anziehungskraft den Massen proportional ist; Schichten verschiedener Dichte wirken also in verschiedenem Maße anziehend und verursachen so im ersten Augenblick unregelmäßig erscheinende Abweichungen.

Um sich von diesen Wirkungen eine Vorstellung zu bilden, betrachte man etwas eingehender folgende einfache Skizze. Es sei unter der Erdoberfläche eine Erhebung vorhanden, die aus dichterer Masse bestehe als die oberflächliche Schicht und in der Zeichnung (Fig. 1) durch feinere Schraffierung hervorgehoben ist. Die Wirkung derselben wird sich auf der Erdoberfläche in der Schwerkraft derart geltend machen, wie die ausgezogenen Pfeile weisen. Zum Vergleich ist in der Zeichnung auch der normale Wert der Schwerkraft angegeben, und zwar durch gerissene Pfeile. Diese beziehen sich also auf den Fall, wenn unter der Erdoberfläche die störende dichtere Masse nicht vorhanden wäre. Betrachtet man die mit kontinuierlichen Linien ausgezogenen Pfeile, so tritt sowohl in der Größe als in der Richtung der Kraft eine Abweichung zutage.

Bezüglich der *Größe der Kraft* erkennt man, daß da die dichtere und somit größere Masse eine größere Anziehung ausübt als die Umgebung, unmittelbar darüber die durch die Länge des Pfeiles angedeutete Größe der Kraft am bedeutendsten ist. Entfernt man sich nach rechts oder links, so nimmt die Kraft ab, die Pfeile werden kürzer. Eine große Entfernung endlich, wie es die verhältnismäßig viel zu nahe gezogenen äußersten Pfeile andeuten, hebt die Wirkung der störenden Masse auf; die Schwerkraft nimmt ihren normalen Wert an.

Bezüglich der *Richtung der Kraft* bemerkt man, daß infolge der größeren Attraktion der dichteren Masse die Pfeile sich derselben zuwenden. Je weiter man sich von der störenden Masse entfernt, desto mehr schwindet diese Abweichung der Richtung, bis sie endlich in großer Entfernung völlig aufhört und die Kraft wieder ihre normale Richtung annimmt, wie der äußerste Pfeil angibt.

Zu bemerken ist noch, daß in der Zeichnung diese Wirkungen unverhältnismäßig übertrieben sind; in Wirklichkeit sind sie äußerst gering, und

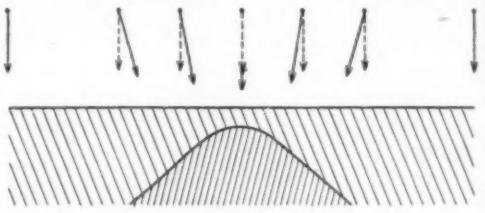


Fig. 1.

zwar wegen des geringen Betrages der Gravitationskonstante. Auch bei bedeutenden Störungen, die größten Abweichungen in Betracht gezogen, macht die Größenschwankung nur einige Hunderttausendstel der Schwerkraft aus und die Ablenkung aus der normalen Richtung beträgt höchstens einige Bogensekunden. Würde die Zeichnung den wahren Verhältnissen getreu entsprechen, so würden die ausgezogenen und gerissenen Pfeile einander vollkommen decken, als ob keinerlei Störung vorhanden wäre.

Da der Betrag dieser Abweichungen äußerst gering ist, waren dieselben mit den älteren Methoden nur höchst schwer und langwierig, oder überhaupt nicht meßbar und mußten die Beobachtungen gewöhnlich an weit entfernten Orten vorgenommen werden. Baron *Roland v. Eötvös* kam auf den Gedanken, ob sich nicht ein Instrument konstruieren ließe, mittels dessen die Änderungen der Schwerkraft in beschränktem Raume, im Rahmen des Instrumentes selbst meßbar seien, welches somit nicht die Schwerkraft selbst, sondern *unmittelbar deren Änderungen messen könne.*

Bei der Konstruktion dieses Instrumentes lag die erste Hauptschwierigkeit in dem Erfordernis der höchsten Empfindlichkeit. Die zu messenden

Abweichungen der Schwerkraft sind nämlich sehr gering, so daß unser Instrument geeignet sein mußte, Werte von 1.10^{-9} CGS zu messen. Zu diesem Zweck wandte *Eötvös die Drehwage* an. Hängt man nämlich einen Balken mit verhältnismäßig großem Trägheitsmoment an einen möglichst dünnen Draht, so läßt sich die gewünschte Empfindlichkeit tatsächlich erreichen. Natürlich ist mit größter Umsicht dafür zu sorgen, daß das Gehänge vor äußeren störenden Einflüssen geschützt sei, damit seine Angaben bei solch großer Empfindlichkeit vertrauenswürdig seien. Selbstverständlich wirkt auf die Drehwage nicht die ganze Schwerkraft, da sie in horizontaler Richtung schwingt und demzufolge nur von horizontalen Kräften verdreht werden kann, die dadurch entstehen, daß die Schwerkraft, welche die Massen an den beiden Enden des Balkens angreift, überhaupt eine verschiedene Richtung aufweist. Eben deshalb ist dieses Instrument zur Messung kleiner Kräfte vorzüglich geeignet.

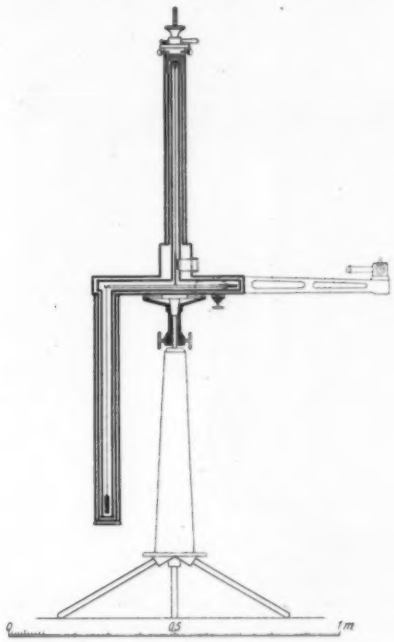


Fig. 2.

In Fig. 2 ist ein derartiges *„einfaches Schwerevariometer"* nach *Eötvös* im Querschnitt dargestellt. Im oberen Rohre befindet sich der Torsionsdraht, sozusagen die Seele des Instrumentes, mit dessen Drillung die einwirkenden Kräfte gemessen werden, weshalb er von sehr beständiger Elastizität sein muß. Zu diesem Zweck verwendet man einen Platin-Iridiumdraht von 0·04 mm Dicke, der durch verschiedene vorausgehende Manipulationen beständig gemacht wird. Das Gehänge bildet ein Balken aus Aluminium, an dessen einem Ende ein Platinblättchen angebracht ist, während am anderen Ende an einem dünnen Draht ein ungefähr 30 g wiegender Platinstab hängt. Die Drillung des Balkens wird mittels des in der Physik häufig verwendeten Spiegels abgelesen. Auf einem senkrechten Ansatz des Balkens ist ein kleiner Spiegel angebracht, der sich also mit dem Balken zugleich dreht. Dem Spiegel gegenüber am Ende eines längeren Armes befindet sich das Fernrohr und darüber die Skala, wie an der rechten Seite des Querschnittes ersichtlich ist.

Wie bereits erwähnt, muß das Instrument vor äußeren störenden Einflüssen: Luftströmungen, raschem Temperaturwechsel, elektrischen Einwirkungen usw. geschützt werden. Deshalb ist das Gehänge selbst in ein dreifaches Metallgehäuse aus 3 bis 5 mm dickem Messingblech oder Messingrohren eingeschlossen. Das ganze Instrument ist auf einen massiven Sockel montiert, und zwar derart, daß es um seine vertikale Achse drehbar und so der Windrose entsprechend in verschiedene Richtungen oder Azimuthe einstellbar ist. Fig. 3 zeigt eine Photographie des ganzen Instrumentes.

Beim Gebrauch bringt man das Instrument in verschiedene Lagen, in verschiedene Azimuthe und liest stets zuerst die Gleichgewichtslage des zur Ruhe gekommenen Balkens ab. Dreht man nämlich das Instrument in eine neue Lage, so schwingt das Gehänge infolge der unvermeidlichen Erschütterungen eine beträchtliche Zeit hin und her; diese Bewegung kommt aber im Verlauf einer Stunde völlig zum Stillstand, dann wird die neue Gleichgewichtslage des Balkens abgelesen usw. Die Theorie der Methode erfordert wenigstens fünf Lagen, um sämtliche Werte berechnen zu können. Gewöhnlich beginnt man die Beobachtungen bei nord-südlicher Lage des Instrumentes und setzt sie fort, indem man es stundenweise um 72° dreht.

Um die Langwierigkeit der Messungen herabzusetzen, hat *Eötvös* ein zweites, sogenanntes *„doppeltes Schwerevariometer"* konstruiert, dessen Äußeres in Fig. 4 dargestellt ist. Dasselbe besteht eigentlich aus zwei nebeneinander angebrachten Instrumenten, die zueinander um 180° gedreht und somit diagonal gestellt sind, wie in der Figur die herabreichenden Rohre verraten. Das eine Instrument ist vorn, das andere hinten angebracht, vollkommen unabhängig voneinander, nur auf gemeinsamem Sockel montiert. In diesem Fall kann man also gleichzeitig stets mit zwei Instrumenten beobachten und so sind weniger, der Theorie gemäß bereits drei Lagen hinreichend. Mit dem doppelten Schwerevariometer beginnt man die Beobachtungen in nord-südlicher Richtung und setzt sie dann mit Drehungen um 120° und 240° fort; aus diesen Lagen sind sämtliche zu bestimmenden Werte berechenbar. In neuerer Zeit arbeiten wir allgemein mit dem doppelten Schwerevariometer. Früher mußte das Instrument beim Transport in mehrere Teile zerlegt

werden, was die Arbeit damit erschwerte und umständlich machte. Die neueren Instrumente bestehen nur mehr aus drei Stücken: dem Dreifuß, dem Sockel und dem eigentlichen Instrument. Natürlich ist bei derartigen Instrumenten auch dafür Sorge zu tragen, daß vor dem Transport das Gehänge durch entsprechende Einrichtungen von außen arretierbar sei.

Bei Messungen im Freien stellt man das Instrument in einem besonderen Zelt auf, um es vor den Unbilden des Wetters sowie vor raschem Temperaturwechsel zu schützen. Das Zelt oder

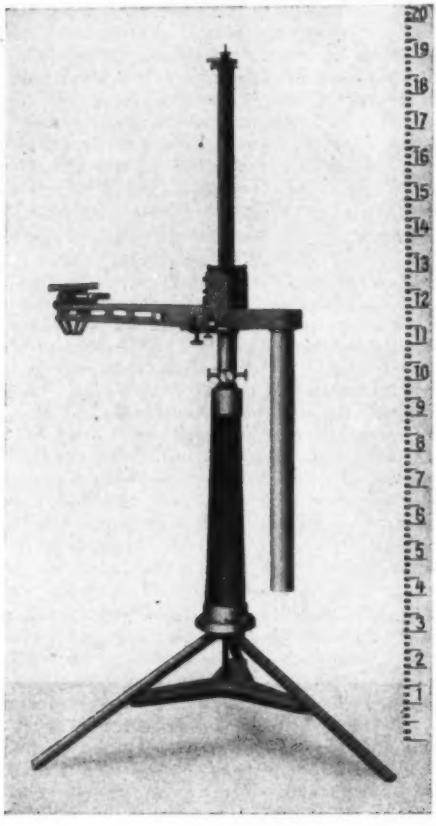


Fig. 3.

Schutzhäuschen besteht aus starker wasserdichter Leinwand und besitzt eine doppelte Wandung; der Zwischenraum ist zur Wärmeisolierung mit Holzspänen ausgefüllt. Zum Transport des Instrumentes benützen wir einen speziell diesem Zweck dienenden Wagen, in dem es bequem untergebracht und rasch und sicher arretiert werden kann.

* * *

Betrachten wir nun, was alles aus den Beobachtungsangaben des Instrumentes *Eötvös'* berechenbar ist und welche Folgerungen sich aus denselben über die räumlichen Variationen der Schwerkraft ziehen lassen.

Man nehme ein rechtwinkliges Koordinatensystem an, dessen Ausgangspunkt im Schwerpunkt des Gehänges liegt, die Achse z senkrecht abwärts, die Achse x nordwärts und die Achse y ostwärts gerichtet ist, und bezeichne die Potentialfunktion der Schwerkraft mit U. Innerhalb des verhältnismäßig kleinen Raumes des Instrumentes kann man die Kraft mit ausreichender

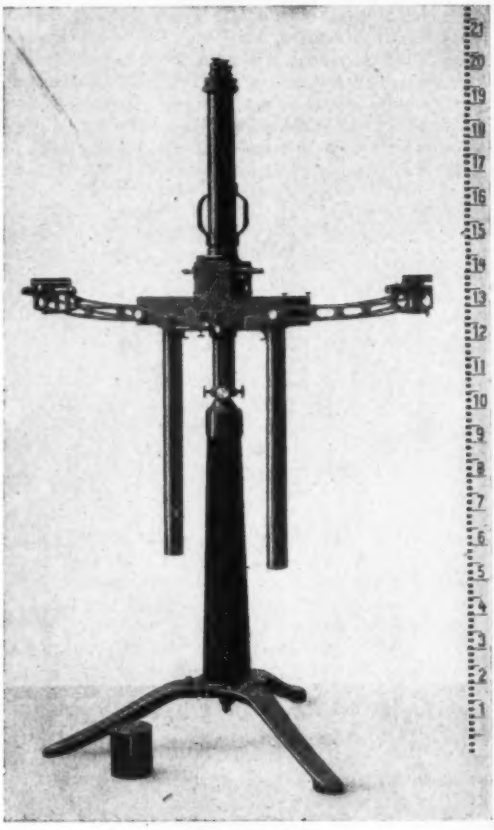


Fig. 4.

Genauigkeit als linear veränderlich betrachten und auf dieser Grundlage ableiten, welche Drillung der Drehwage die räumlichen Variationen der Schwerkraft zustandebringen. Die Details dieser Berechnungen können wir getrost übergehen; das Endresultat, zu dem wir gelangen, ist, daß sich aus den Beobachtungen unmittelbar folgende Werte berechnen lassen:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}, \quad \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}, \quad \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right), \quad \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$$

Der Vollständigkeit halber ist zu erwähnen, daß diese vier Werte nur durch solche Drehwagen gegeben werden, wie die bisher besprochenen, wo die Massen an den Balkenenden in verschiedener Höhe angebracht sind. *Eötvös* benutzte nämlich bei seinen Untersuchungen über die Gravitation auch solche Drehwagen, wo die Massen an den Balkenenden in gleicher Höhe angebracht waren; diese Instrumente aber ergeben von den vier Werten nur die beiden letzten, weshalb sie zu Messungen im Freien nicht benutzt werden.

Bevor wir auf die physikalische Bedeutung dieser Werte näher eingehen, ist im allgemeinen noch folgendes zu bemerken. Diese Werte sind unmittelbar zu weiteren Folgerungen nicht geeignet. Sie enthalten nämlich in erster Reihe die Einwirkungen der sichtbaren Unebenheiten der unmittelbaren Umgebung, die völlig vom Zufall abhängt. Deshalb wird die Umgebung des Instrumentes bis zu 100 m Entfernung durch Nivellierung in ihren Hauptzügen vermessen und daraus in geeigneter Weise die *„Terrainwirkung"* berechnet. Ebenso wird der Einfluß in der Nähe befindlicher Gräben, Dämme usw. berechnet, sofern dieselben durch Verlegung der Station nicht zu umgehen sind. Diese Terrainwirkung ist dann von den unmittelbar beobachteten *„vollen Werten"* in Abrechnung zu bringen, so bekommt man die *„topographischen Werte"*. Werden ferner von den topographischen Werten die *„Normalwerte"*, von denen bereits oben die Rede war, abgezogen, so erhält man die Abweichungen von den Normalen, die *„topographischen Störungswerte"*, die Gravitationsstörungen. Diese Gravitationsstörungen werden von den sichtbaren oberirdischen sowie von den unsichtbaren unterirdischen Massen gleicherweise verursacht. Bringt man also von den topographischen Störungswerten wieder den Einfluß der sichtbaren Massen, der Berge, die auf Grund der Karten zu berechnende *„kartographische Wirkung"* in Abzug, so erhält man die durch unterirdische Massen bewirkten Gravitationsstörungen, die *„subterranen Störungswerte"*. Will man also aus den Messungen auf die unterirdischen Massen schließen, so sind gerade diese subterranen Störungswerte als Ausgangspunkt zu wählen.

•

Da bekanntlich die *Beschleunigung der Schwerkraft* $g = \frac{\partial U}{\partial z}$ ist, so sind die *beiden ersten Angaben* des *Eötvös*'schen Instrumentes:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} = \frac{\partial g}{\partial x} \quad \text{und} \quad \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} = \frac{\partial g}{\partial y},$$

das heißt, die beiden Angaben besagen, *in welcher Weise sich die Beschleunigung der Schwerkraft, oder die Schwerkraft selbst in der Horizontalen* nordwärts- beziehungsweise ostwärtsgehend *ändert*. Die Resultierende dieser beiden Daten ergibt die Richtung und Größe der größten Änderung, *den Gradienten*, d. i. um wieviel CGS-Einheiten, um wieviel Dyn die Kraft zunimmt, wenn man sich in dieser Richtung in der Horizontalen um 1 cm vorwärts bewegt. Die Werte der Gradienten sind sehr gering, und eben deshalb pflegt man dieselben in $1 . 10^{-9}$ CGS-Einheiten auszudrücken.

In unseren Karten wird der Gradient mit einem kleinen Pfeile bezeichnet, der in der bevorzugten Richtung, in der Richtung der größten Variation verläuft und dessen Länge dem Grade der Variation proportional ist. Trägt man in die Karten die Gradienten der subterranen Störungswerte, die Gradienten der durch unterirdische Massen bewirkten Gravitationsstörungen ein, so läßt sich daraus unmittelbar auf die unterirdischen Massen schließen.

Die Gradienten weisen stets gegen die unterirdischen größeren Massen hin und gewähren so bereits einen gewissen Einblick in die unterirdischen Verhältnisse. Ein noch klareres Bild aber gewinnt man auf folgende Weise. Steht auf dem untersuchten Gebiet ein genügend dichtes Netz der Stationen zur Verfügung, so läßt sich auf Grund der Gradienten der Wert der Schwerkraft für jeden beliebigen Punkt des ganzen Gebietes berechnen. Nebenbei sei bemerkt, daß, will man auch die absoluten Werte selbst angeben, diese an einigen Punkten in gewöhnlicher Weise mit Pendelmessungen zu bestimmen sind. Die Kenntnis der absoluten Werte an einigen Punkten ist auch noch deshalb von Vorteil, da sie eine gute Kontrolle unserer Messungen ermöglichen. Die Pendelmessungen ergeben nämlich unmittelbar die Differenz der Schwerkraft zwischen zwei voneinander entfernt liegenden Stationen; die Berechnung mittels der Gradienten muß natürlich die gleiche Differenz ergeben. Das Pendel liefert daher nur einige Kardinalpunkte, ohne in den feineren Verlauf dieser Variationen einen Einblick zu gewähren, den es übrigens wegen seiner geringeren Empfindlichkeit auch nicht gewähren kann. Sind nun die Gravitationswerte für jeden beliebigen Punkt des untersuchten Gebietes bekannt, so kann man die Punkte mit gleicher Schwerkraft durch kontinuierliche krumme Linien verbinden, *die Linien gleicher Schwerkraft* oder *Isogammen* genannt werden. Trägt man in die Karte die Isogammen der durch unterirdische Massen bewirkten Gravitationsstörungen, die *Isogammen der subterranen Störungswerte* ein, so bietet dieses Liniensystem einen unmittelbareren Einblick in die unterirdischen Verhältnisse.

Die Isogammen selbst sind aus den Beobachtungen unmittelbar abgeleitete sichere Werte; will man jedoch ihre Bedeutung in bezug auf die unterirdischen Massen feststellen, so ist dies bereits von gewissen Voraussetzungen abhängig. Der einfachsten Voraussetzung gemäß befindet sich unter der Erdoberfläche eine Gesteinsschicht von größerer Dichte, der die weniger dichte oberflächliche Schicht aufliegt. In diesem Fall kommt den Isogammen eine ähnliche Bedeutung zu, wie auf den gewöhnlichen Karten den Isohypsen, den

Schichtenlinien. Unter diesen Verhältnissen ergeben nämlich die Isogammen unmittelbar die Niveauverhältnisse, die Schichtenlinien der unterirdischen dichteren Massen.

Aus der großen Anzahl der von uns durchgeführten Messungen möchte ich nur einige Beispiele zwecks eingehender Besprechung herausgreifen. In Fig. 5 ist die Karte der subterranen Störungswerte, der Gravitationswirkung der unterirdischen Massen für *die Gegend von Arad* dar-

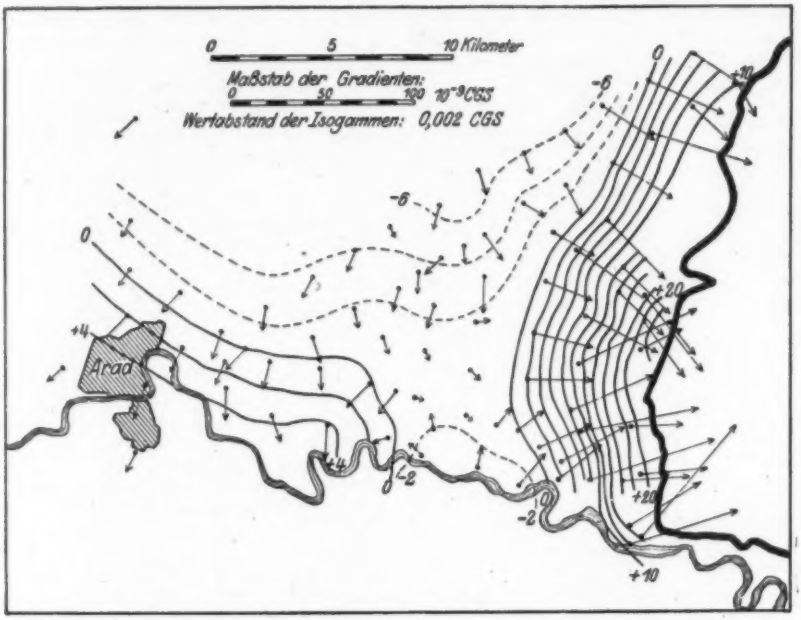


Fig. 5.

gestellt. Die fette Linie am Rand der Karte bedeutet die Grenze der Ebene, den Rand des Arader Gesenkes; der Einfluß dieses Gebirgszuges ist dem Gesagten gemäß von den in der Karte angegebenen Werten bereits abgezogen. Die einzelnen Punkte sind die Beobachtungsstationen, von denen einige, wo sie zu dicht placiert waren, weggelassen wurden, um die Übersichtlichkeit der verkleinerten Zeichnung nicht zu stören. Die Pfeile stellen die Gradienten dar, die eingetragenen krummen Linien die Isogammen. Wie ersichtlich, weisen die Gradienten in der Nähe des Berges dem Berge zu, andeutend, daß in dieser Richtung größere unterirdische Massen angehäuft sind, das heißt, daß sich die Felsschicht des Berges unter der Erdoberfläche abwärts fortsetzt. Gegen Arad zu machen die Gradienten bis zu einem gewissen Grade eine Wendung, andeutend, daß der dichtere Untergrund wieder etwas emporsteigt. Noch prägnanter werden diese Verhältnisse durch die Isogammen der Gravitationsstörungen dargetan, von denen die negativen, deren Wert unter dem Normalen steht, mit unterbrochenen Linien gezeichnet sind; die danebenstehenden Zahlen bedeuten eigentlich die Isogammen von + 0·004 + 0·010, + 0·020 usw. CGS-Wert. Dieser Karte entsprechend haben wir ein Profil des Parallelkreises vom Dorfe Ménes in ost-westlicher Richtung angefertigt (Fig. 6), und zwar unter Annahme der Dichte $s_1 = 1{,}8$ und $s_2 = 2{,}6$. In der Zeichnung ist der die unterirdische Fortsetzung der Berge bildende felsige Untergrund sichtbar, der alte Meeresgrund, auf dem sich die losere oberflächliche Schicht der gegenwärtigen Tiefebene abgelagert hat.

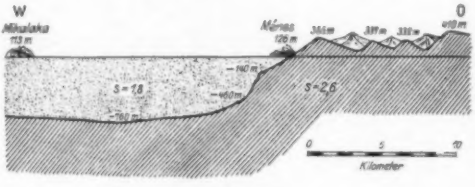


Fig. 6.

Ähnliche Verhältnisse ergaben unsere Messungen in der *Umgebung von Budapest.* Auch hier weisen die Gebirge von Buda eine unterirdische Fortsetzung auf und erstrecken sich ziemlich rasch abfallend unter die lockere oberflächliche Schicht der Tiefebene. Unsere Messungen ergaben dasselbe Fallen, wie es auf Grund der Bohrungen festgestellt wurde. Die Thermen der Budaer Seite

liegen nahe der Oberfläche, das Bohrloch der Margaretheninsel ist bereits 118 m und das im Stadtwäldchen bereits 970 m tief. Im gleichen Maße fällt auch der felsige Untergrund.

Das ausführliche Resultat unserer Messungen in der *Umgebung von Kecskemét* zeigt Fig. 7, wo, wie in den vorangehenden, ebenfalls die subterranen Störungswerte angegeben sind. Die in die einzelnen Gebiete eingetragenen Zahlen bedeuten eigentlich die Störungswerte von 0·022, 0·034, 0·036 und 0·040 CGS. Wie ersichtlich, sind vom mittleren 22-er Gebiet ausgehend die Gradienten sämtlich nach auswärts gerichtet, die dichteren Massen befinden sich demnach auswärts, während in der Mitte geringere Massen vorhanden sein müssen. Geht man über das 40-er Gebiet hinaus, so wendet sich der Gradient um, ein Zeichen dessen, daß die größten Massen im Umkreise des 40-er Gebietes liegen. Noch besser derbare Bildung steht mit den Kecskeméter Erdbeben unzweifelhaft im Zusammenhang. Ohne mich auf Näheres einzulassen, erwähne ich nur, daß z. B. das Epizentrum (die Stelle der Erdoberfläche über dem Mittelpunkt des Bebens) des Bebens vom 8. Juli 1911 auf unserer Karte mit dem Punkt *C*, also mit dem Mittelpunkt des Kraters zusammenfällt. Die auf unserer Zeichnung nicht angegebenen Bebenslinien, die Isoseisten, fallen ebenfalls mit diesem Gebilde zusammen.

Ich hebe jedoch hervor, daß diese Schlußfolgerungen nur unter der oben angeführten Voraussetzung bestehen können. Bei Annahme anderer Massen von geringerer Dichte als die Umgebung können auch andere Bildungen die beobachteten Gravitationsstörungen bewirken. So kann das Minimum in der Mitte auch der Anwesenheit eines größeren Salzkomplexes seinen Ursprung verdanken, wie es der Geologe *Hugo Böckh* für wahr-

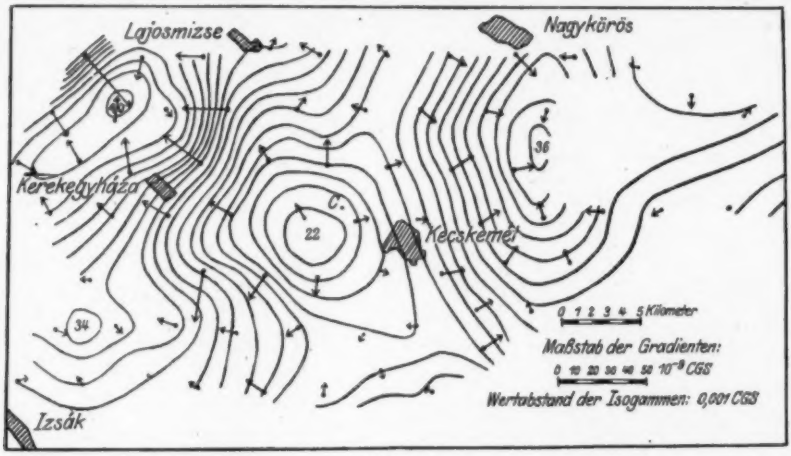


Fig. 7.

veranschaulichen die Isogammen diese Verhältnisse. Die erste Isogamme in der Mitte hat einen Wert von 0·022 CGS, von da an steigen die Isogammen dem Rande zu an, in nordwestlicher Richtung, z. B. bis 0·040 CGS, dann nehmen sie wieder ab. Bei Voraussetzung von wieder nur zwei Schichten, einer tieferen dichteren und einer oberen losen Schicht, bilden die Isogammen die Schichtenlinien des Niveaus der unterirdischen tieferen Schicht, und zwar bei Annahme eines Dichtenunterschiedes von 0,6 in Abständen von je 40 m. In der Mitte des dichteren Untergrundes ist demnach eine Senkung vorhanden; von hier dem Rande zu steigt die dichtere Masse empor, um dann wieder zu fallen. Mit einem Worte, wir haben es mit einer Kraterbildung zu tun, respektive besser gesagt, mit einem „Ringgebirge", wie es die Mondkrater sind. Das Ringgebirge ist nämlich verhältnismäßig breit, sein Durchmesser beträgt ca. 30 km, und am Rande erheben sich einzelne Gipfel. Diese sonscheinlich hält. Trotzdem also in diesem Fall wegen der Wahl der richtigen Voraussetzung unsere Schlußfolgerungen ungewiß sind, tritt die eminente Wichtigkeit dieser Messungen doch klar zutage. Es ist ja nur an der Stelle des im Gelände leicht abzusteckenden Minimums und an einem der Maxima eine Bohrung auszuführen, um in diese unterirdische Gestaltung einen sicheren Einblick zu erhalten. Ferner steht es fest, daß, ist nur einmal die eigentliche Bedeutung dieser Gravitationsstörung richtig festgestellt, Störungen von ähnlichem Typus in der Tiefebene auch in anderen Fällen dieselbe Bedeutung zukommt. Im allgemeinen: je mehr unzweifelhaft festgestellte Fälle wir haben, wie gewisse Gravitationsstörungen geologisch zu deuten sind, desto sicherer werden unsere Folgerungen auch in bezug neuerer Fälle. Deshalb ist es vonnöten, daß die geologischen Erfahrungen und die Gravitationsmessungen einander gleichsam organisch ergänzen.

Der Vollständigkeit halber ist noch zu erwähnen, daß die mittels der Drehwage festgestellten ersten zwei Werte $\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$ und $\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$ in anderer Interpretierung auch *die Richtungsänderung der Schwerkraft in der Vertikalen bestimmen.*

•

Die mittels der Drehwage bestimmbaren *anderen zwei Werte*

$$\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right) \text{ und } \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$$

liefern verschiedene Aufschlüsse über *die Gestalt der Erdoberfläche.*

Die Gestalt der Erdoberfläche ist kein unmittelbar zu fassender Begriff, da die Erde bekanntlich mit Höhen und Tiefen bedeckt ist und man sich diese unregelmäßigen Unebenheiten ausgeglichen denken muß. Eben deshalb pflegt man bei einer Bestimmung der Form der Erdoberfläche die Fläche des ruhenden Wassers heranzuziehen. Man stelle sich die Sache so vor, die ganze Erde sei vom Meere bedeckt, nehme Abstand von dessen Bewegungserscheinungen, von Ebbe und Flut, dann ergibt die Fläche dieses völlig ruhigen Meeres die Oberfläche der Erde, die man als *Niveaufläche* zu bezeichnen pflegt.

Unsere Werte geben in erster Reihe über die Krümmungsverhältnisse der Niveaufläche Aufschluß. Bezeichnet man nämlich den größten beziehungsweise den kleinsten Krümmungsradius, also die beiden Hauptkrümmungsradien mit ϱ_2 respektive ϱ_1, dann besteht die Gleichung:

$$\left(\frac{1}{\varrho_1} - \frac{1}{\varrho_2}\right) = -\frac{1}{g}\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)\frac{1}{\cos 2\lambda},$$

wo λ den Winkel bedeutet, welchen die Hauptebene des größeren Krümmungsradius mit der Ebene xz einschließt. λ selbst wird durch die Gleichung

$$\operatorname{tg} 2\lambda = -\frac{2\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}}{\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)}$$

bestimmt. Diese beiden Werte bestimmen also *die Abweichung der Krümmung der Niveaufläche von der Kugelfläche und die Richtung der Hauptkrümmungen.*

Ohne mich auf die Sache näher einzulassen, erwähne ich nur ein besonders interessantes Beispiel. Wir führten *in Tirol* Messungen aus, im Hochtal bei Cimabanche, welches zwischen dem über 3000 Meter hohen Monte Cristallo und dem Croda Rossa in 1520 m Seehöhe liegt, so daß die relative Tiefe des verhältnismäßig engen Tales mehr als 1500 m beträgt. Der Einfluß dieser mächtigen, emporragenden Massen zeigt sich darin, daß im Tale und besonders an dessen Rande die Krümmung der Niveaufläche eine viel geringere ist, als sie unter normalen Verhältnissen sein müßte. In der Längsrichtung des Tales ist die Krümmung als normal anzunehmen, so daß sich aus den Beobachtungsresultaten der Krümmungsradius senkrecht zur Längsrichtung des Tales bestimmen läßt; sein Wert beträgt am Talrande das Dreißigfache des normalen Wertes.

In diesem Beispiel tritt die Wirkung der emporragenden sichtbaren Massen zutage; selbstverständlich wird die Form der Niveaufläche aber auch von den unterirdischen unsichtbaren Massen beeinflußt. Aus den subterranen Krümmungswerten lassen sich demnach bezüglich der unterirdischen Massen gewisse Folgerungen ziehen.

Eines der interessantesten ist das Verfahren *Eötvös'*, mittels dessen er aus den Werten von $\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)$ und $\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$ *die charakteristischen Werte der Form der Niveaufläche und so die Niveauflächen selbst* ableitet. Aus der Theorie folgt nämlich unmittelbar, daß diese beiden Werte zur Lösung der Aufgabe nicht genügen. Es bedarf außerdem noch der Kenntnis von $\frac{\partial^2 U}{\partial z^2}$, zu dessen Bestimmung wir bisher leider kein besseres Verfahren kennen, als das mit der Wage nach *Jollys* Methode. Diese Bestimmung ist aber im Vergleich zu den Messungen mit der Drehwage so grob und ungenau, daß sie zur Ergänzung dieser Werte nicht geeignet ist.

Das Verfahren selbst kann ich nicht eingehender besprechen; ich muß mich darauf beschränken, daß, steht ein genügend dichtes Netz von Drehwage-Beobachtungsstationen zur Verfügung und *sind an zwei Punkten des Netzes die nördlichen Lotabweichungen bekannt, so genügen diese Werte, um für sämtliche Punkte des ganzen Gebietes die Lotabweichungen und Krümmungen zu berechnen.* Eben deshalb werden in den mit der Drehwage durchforschten Gebieten mit den gebräuchlichen astronomisch-geodätischen Methoden an einigen Stellen auch die Lotabweichungen bestimmt. Zur Berechnung genügen bereits zwei Werte, die übrigen dienen der Kontrolle.

Die Lotabweichungen werden ähnlich den Gradienten in die Karte mit kleinen Pfeilen eingetragen. Sind die Lotabweichungen für jeden Punkt des ganzen Netzes bekannt, so sind daraus *die Linien gleichen Potentials* abzuleiten und in die Karte ebenfalls einzutragen. Auf diese Weise läßt sich *die Form der Niveaufläche veranschaulichen.*

Schon auf Grund der Gradienten und Isogammen kann man bezüglich der unterirdischen Massen gewisse Schlußfolgerungen ziehen. Diese Schlußfolgerungen erweitern und vervollständigen sich, wenn man auch die Krümmungswerte und Lotabweichungen in Betracht zieht. Gewisse Gestaltungen kommen nämlich bald in der einen, bald in der anderen Wirkung besser zum Ausdruck. So macht sich ein unterirdischer Abhang im Gradienten geltend, während er auf die Krümmungswerte ohne Einfluß ist. Über den Lehnen einer unterirdischen Erhebung erhält man hohe Gradienten, über dem Gipfel aber hohe Krümmungswerte usw.

•

Desgleichen sind aus dem Gesichtspunkte der Schlußfolgerungen auch die *erdmagnetischen Beobachtungen* von Wichtigkeit, weshalb auch diese stets parallel den Gravitationsmessungen ausgeführt werden.

Die Bestimmung der absoluten magnetischen Werte wird mit den gebräuchlichen Methoden und Instrumenten ausgeführt. Zwischen die absoluten Stationen schalten wir oft relative Beobachtungsposten ein. In diesen Fällen werden nämlich bloß die Variationen der Kraft gemessen, und zwar mit unverhältnismäßig leichter und rascher arbeitenden Instrumenten. Im allgemeinen sind eben zum Zweck einer rascheren und leichteren Arbeit unsere Instrumente, wenn auch nicht im Prinzip neu, so doch neukonstruiert. Zur Bestimmung der relativen Deklinationen verwenden wir ein Instrument, das auch im Prinzip eine eigene Konstruktion des Barons *Eötvös* ist.

*

Bezüglich dessen, wie die Aufnahmen im Freien tatsächlich durchgeführt werden, erwähne ich kurz nur folgendes. Unsere Schwerevariometer sind so groß, daß zu ihrem Transport besondere Wagen nötig sind. Die übrigen Instrumente, Zelte, Ausrüstungsgegenstände werden ebenfalls auf besonderen Wagen befördert. Die Gravitationsmessungen geschehen des Nachts, um dem störenden Einfluß raschen Temperaturwechsels vorzubeugen. Die Beobachtungen werden an den erforderlichen Punkten oft in großer Entfernung von bewohnten Orten, Dörfern usw. ausgeführt. Alle diese Umstände machten es zur Notwendigkeit, daß wir uns mit einer wahren Expeditionsausrüstung versehen haben, um so unabhängig von bewohnten Ortschaften, ohne Rücksicht auf die Witterungsverhältnisse völlig im Freien kampieren zu können. Wir mußten also für zweckmäßige Wohnungen, Wohnzelte, deren entsprechende Einrichtung, Beleuchtung, Kücheneinrichtung usw. sorgen. In Anbetracht dessen, daß täglich eine neue Station bezogen werden muß, war in der Konstruktion aller dieser Einrichtungen ausschlaggebend, daß dieselben möglichst rasch und leicht aufzuschlagen und abzubrechen seien.

* * *

Betrachten wir nunmehr in ihren Hauptzügen die Bedeutung der Methode und der Messungen *Eötvös'* in ihren verschiedenen Beziehungen.

Die Eötvös'sche Drehwage ist in erster Reihe vom *wissenschaftlichen Standpunkte aus* ein Instrument von hervorragender Bedeutung, weil damit äußerst geringe Kräfte noch meßbar sind. Unter anderm konnte *Eötvös* mit diesem Instrument seine genauen Untersuchungen über *die Proportionalität der Trägheit und Gravität* ausführen, die ich in einem besonderen Artikel behandeln werde.

Ein anderer Standpunkt, von dem aus die Gravitationsmessungen und so die Beobachtungen mit dem Eötvös'schen Instrument von Wichtigkeit sind, ist der *geophysikalische Standpunkt.* Auf Grund dieser Untersuchungen läßt sich der allgemeine Aufbau der Erdoberfläche feststellen und aus den Einzelheiten der gegenwärtigen Verhältnisse auch auf die Vergangenheit, auf die Entwicklung unserer Erde, Schlüsse ziehen. Ich könnte noch die mit dem Ebbe- und Flut-Phänomen verbundenen Erscheinungen sowie mehrere andere diesem Kreise angehörende Probleme anführen, will mich aber beispielshalber bloß auf ein einziges beschränken. Es ist dies das *Prinzip der Isostasie,* laut dem die Massen von ansehnlicher Größe auf der Erdoberfläche derart gelagert sind, als ob sie in ihrer Umgebung schwimmen würden. Nach den bisherigen Untersuchungen besteht diese Annahme zu Recht für große Gebirgszüge, ferner für die ganzen Kontinente selbst, wohingegen für kleinere Berge und geringere Massen die Isostasie nicht gültig ist. Bei Untersuchung dieses Problems können unsere Instrumente nützliche Dienste leisten.

Der dritte wichtige *Standpunkt ist der geodätische.* Die Frage über die Gestalt des Erdballes ist von allgemein menschlichem Interesse. Diesem Zwecke dienen die Gradmessungen, wobei sozusagen ganze Erdteile vermessen und daraus die Gestalt der Erde abgeleitet wird. Auf die bis ins Altertum zurückreichende Geschichte der Gradmessungen kann ich hier nicht eingehen. In neuester Zeit werden diese Arbeiten nach den Weisungen der Kommission für Internationale Erdmessung ausgeführt. Die Resultate der sich stetig mehrenden Gradmessungen ergeben, daß die Erde nicht, wie man früher annahm, eine einfach abgeplattete Kugel sei, sondern eine ziemlich komplizierte Gestalt besitze. Nun ist aber für die Genauigkeit der Gradmessung von Wichtigkeit, daß in den vermessenen Gebieten auch die Gravitationsstörungen bekannt und so in Berechnung zu ziehen seien. Gerade die ausführliche Untersuchung dieser Störungen ist aber durch das Eötvös'sche Instrument ermöglicht. Die *Kommission für Internationale Erdmessung* selbst legte diesen Messungen großes Gewicht bei und ersuchte die ungarische Regierung, dieselben wirksam zu unterstützen und so eine ausführliche Untersuchung verhältnismäßig größerer Gebiete möglich zu machen.

In praktischer Hinsicht am wichtigsten ist der vierte, der *geologische Standpunkt.* Wie ich bereits oben ausgeführt habe, gestatten unsere Messungen Schlußfolgerungen über die Struktur der unterirdischen Massen. Auf diese Weise können nutzbare Schichten entdeckt werden; in *Siebenbürgen* z. B. lassen sich die Salzkomplexe durch unsere Messungen vorzüglich nachweisen. Außerdem kann man auch Stoffe entdecken, die zwar unmittelbar keine Wirkung auf die Gravitation ausüben, aber mit gewissen mittels der Gravitationsstörungen nachweisbaren Schichtengestal-

tungen in Zusammenhang stehen. So ist gegebenenfalls auf Wasser, Erdöl, Erdgas zu schließen. In der *Umgebung von Budapest* z. B. fällt die Tiefe der Thermen mit dem Fallen der Dolomitschicht zusammen, das mit unseren Instrumenten leicht meßbar ist. Mit Hilfe unserer Methode hätte man also voraussagen können, im artesischen Brunnen des Stadtwäldchens sei das Wasser wahrscheinlich erst bei 900—1000 m Tiefe zu erreichen. In der Umgebung von *Egbell*, wo nach Öl gebohrt wurde, ergaben unsere Messungen genau dieselbe Gestaltung, wie sie auch von den Geologen festgestellt wurde. Die Messungen, die wir in *Siebenbürgen* ausführten, gestatten eine Bestimmung der höchsten und tiefsten Stellen der Schichtenreihen, gewähren also eine Kenntnis der Antiklinalen und Synklinalen, die vom Standpunkte der Erdgasbohrungen aus von hervorragender Wichtigkeit ist, da sich erfahrungsgemäß reichliche Erdgasquellen stets in den Antiklinalen finden. Von unschätzbarem Wert sind die Angaben der Drehwage besonders in der Tiefebene. In Gebirgsgegenden nämlich findet sich der Geologe auch allein zurecht, da ihm hier das Anstehen der Schichten die Möglichkeit bietet, deren Fallen zu bestimmen und so ihren Verlauf unter der Oberfläche wenigstens annähernd zu verfolgen. In der Tiefebene hingegen ist er gezwungen, mittels kostspieliger Bohrungen Anhaltspunkte zu schaffen. Hier ist es bereits wichtig, die Probebohrungen nicht völlig aufs Geratewohl, sondern an den geeignetsten Stellen vorzunehmen, wozu die Drehwage sichere Hinweise gibt. Ich berufe mich nur auf unsere Messungen in der Umgebung von *Kecskemét*, die ich bereits oben besprochen habe. Zu erwähnen ist ferner, daß wir auf Anraten und Veranlassung des Leiters der Bergschürfungen, Herrn *Hugo Böckh*, in der Gegend von *Debreczen*, auf der *Hortobágyer Heide* ausführliche Drehwagebeobachtungen gemacht haben, und daß dort den gewonnenen Angaben gemäß die Probebohrungen bereits im Gange sind.

Endlich der fünfte, der *seismologische Standpunkt*. Die größte Gefahr bedeuten die Erdbeben dort, wo sich in der Erde unausgeglichene Schichten, gewisse Bruchlinien, tektonische Linien vorfinden. Erbebt die Erde in solchen Gebieten, so können beträchtliche Dislokationen, Erdrutschungen eintreten. Mit unseren Instrumenten lassen sich gerade diese vom seismologischen Standpunkte aus gefährlichen Gestaltungen erforschen. Ich berufe mich auf die Umgebung von *Kecskemét*, wo der unterirdische geologische Aufbau mit den Erdbeben in unzweifelhaftem Zusammenhange steht. Würden uns von dem gleichen Gebiete Messungen vor und nach einem größeren Erdbeben zur Verfügung stehen, so ließe sich aller Wahrscheinlichkeit nach aus diesen Messungen auf die Dislokation größerer unterirdischer Massen schließen. Vielleicht wären auf diese Weise auch die vulkanischen Massenverschiebungen zu beobachten. Zum Vergleich führe ich an, daß in 100 m Abstand vom *Donauufer* mit einem genügend empfindlichen Instrument die Niveauänderungen des Wassers auf Grund der Gravitationswirkung desselben gut zu beobachten waren.

* * *

Baron *Roland v. Eötvös* hat die Gravitationsforschung mit einer völlig neuen Methode von hoher Bedeutung bereichert. Das neue Verfahren macht die älteren nicht überflüssig, sondern ermöglicht dieselben ergänzend eine noch tiefergehende Kenntnis der Schwerkraft.

Die Bedeutung dieser Messungen wurde alsbald auch vom Auslande anerkannt. Gelegentlich der Konferenz der *Kommission für Internationale Erdmessung* zu Budapest im Jahre 1906 besuchte eine größere internationale Gesellschaft der Geodäten die Messungen, welche damals gerade in der Umgebung von Arad im Gange waren, und folgte ihnen mit großem Interesse.

Die *Deutschen* waren die ersten, die — das Kgl. preuß. geodätische Institut — die Eötvösschen Messungen einführten. Der Mechaniker des Instituts konstruierte das Variometer den Anweisungen Professor *Heckers* gemäß, im Prinzip dem Eötvös'schen Modell folgend, doch mit photographischer Registrierung. Die Drähte stellte ihm *Eötvös* zur Verfügung. Später ließ *Hecker* für das seismologische Institut in Straßburg ein zweites Instrument, ebenfalls in Potsdam anfertigen. Mit diesem Instrument nimmt er zurzeit in Gesellschaft Herrn Professor *Königsbergers*, der das Verfahren bei uns längere Zeit studiert hat, in der Umgebung von Hamburg Messungen vor. Zu diesem Zweck hat ihnen *Eötvös* noch ein Variometer extra zur Verfügung gestellt. In neuester Zeit hat *Schweydar* auf Anraten des ungarischen Geologen *Hugo Böckh* in der Lüneburger Heide Eötvös'sche Messungen vorgenommen. Man konnte da die Grenzen eines Salzhorstes, die aus Bohrungen gut bekannt waren, auch aus den Daten der Drehwage genau bestimmen.

Von den *Franzosen* hat *Brillouin* im Simplontunnel Messungen mit dem Variometer vorgenommen, das er mit gewissen Modifikationen selbst anfertigen ließ.

In *Italien* hat sich Professor *Venturi* an der Universität zu Palermo theoretisch und *Soler* an der Universität zu Padova praktisch mit der Methode *Eötvös'* befaßt. Professor *Soler* hielt sich zum Studium der Messungen auch bei uns auf und nahm an denselben in der Umgebung von Nagykörös teil. Ihr Variometer bestellten sie bei *Ferdinand Süß*, Präzisionsmechaniker in Budapest, der auch unsere Instrumente angefertigt hat. In der Umgebung von Padova wurden bereits auch im Freien Messungen vorgenommen.

Mit dem militärisch-geographischen Institut in *Rußland* wurden ebenfalls Verhandlungen gepflogen zwecks Bestellung derartiger Instrumente, doch sind die Verhandlungen abgebrochen worden.

Auch die *Engländer* ließen für das Londoner *The Science Museum* bei *Süß* ein Eötvös'sches Variometer anfertigen, das aber infolge des Krieges hier zurückgeblieben ist.

Unter den ersten haben auch die *Japaner* bei *Süß* ein Instrument bestellt, mit dem Professor *Sinjo*, der die Messungen bei uns auch praktisch studiert hat, in der Umgebung von Tokio Beobachtungen ausführt.

In Ungarn hat außer uns Professor *Garazzi* nach den Anweisungen des kroatischen Geologen *Gorjanovich-Kramberger* in Kroatien und Slavonien Messungen ausgeführt. Ihr Variometer bezogen sie ebenfalls von *Süß*. In Anbetracht dessen, daß wir auf Grund langjähriger Erfahrungen mit allen kleinen Praktiken der Instrumente wohl vertraut sind, wurden sämtliche in Budapest angefertigten Variometer von uns überprüft. Desgleichen haben stets wir die Konstanten der Instrumente bestimmt, die bei den Berechnungen nötig sind.

Jüngst hat Professor *Schumann* vom Wiener Polytechnikum hier bei uns die Messungen längere Zeit studiert und bei *Süß* auch Instrumente bestellt. Auch *Smolenski*, Universitätsprofessor zu Krakau, hat unsere Expedition aufgesucht; auch dort will man die Eötvös'schen Messungen ins Programm aufnehmen.

Das Ausland und darunter auch Deutschland verhielt sich den Messungen gegenüber anfangs ziemlich reserviert. Man glaubte nicht, daß auch bei Beobachtungen im Freien die erforderliche Genauigkeit und Sicherheit erreichbar sei. Seitdem aber größere Beobachtungsserien vorliegen und sie auf Grund der darin auftretenden Gesetzmäßigkeiten Gelegenheit hatten, sich von der Realität der Messungen zu überzeugen, wurden sie die eifrigsten Anhänger derselben. So hatte selbst *Helmert*, der unlängst verstorbene Berliner Universitätsprofessor und Direktor des geodätischen Institutes zu Potsdam, Präses der Kommission für Internationale Erdmessung, anfangs kein rechtes Vertrauen zu diesen Messungen, später jedoch äußerte er sich mit größter Begeisterung darüber. Als ich im Jahre 1915, um Pendelmessungen auszuführen, in Potsdam verweilte, hatte ich wiederholt Gelegenheit, mit *Helmert* über diese Messungen zu sprechen, wobei er sich unter anderem folgendermaßen äußerte: Für die zwei wunderbarsten Instrumente der höheren Geodäsie halte er die Libelle und *das Eötvös'sche Variometer*, da beide im Prinzip so unendlich einfach seien und doch, richtig angewendet, die wichtigsten und weitgehendsten Aufschlüsse über die Gestalt der Erde und die Struktur der Erdoberfläche gewähren.

* * *

Die Theorie der Methode und ein kleiner Teil der Endresultate der Messungen sind in den Originalabhandlungen des Barons *Roland v. Eötvös* enthalten. Für solche, die sich dafür eingehender interessieren, gebe ich im folgenden das Verzeichnis der erschienenen Abhandlungen:

Vizsgálatok a gravitatio és mágnesség köréből; Mathematikai és Természettudományi Értesitö. 1896, XIV. kötet. — Der Aufsatz stimmt wesentlich mit dem nächstfolgenden.

Untersuchungen über Gravitation und Erdmagnetismus; Annalen der Physik und Chemie. 1896, Neue Folge, Band 59.

Etude sur les surfaces de niveau, et la variation de la pesanteur et de la force magnétique; Rapports présentés au congrès international de Physique réuni à Paris en 1900, Tome III.

A nehézség és a mágneses erö nivófelületeinek és változásainak meghatározásáról; Mathematikai és Physikai Lapok. 1900. IV. kötet. — Der Aufsatz stimmt wesentlich mit dem vorangehenden.

Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hilfe der Drehwage; Verhandlungen der XV. allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung in Budapest 1906. — In dieser Abhandlung ist die streng mathematische Theorie und die praktische Durchführung der Methode am ausführlichsten behandelt.

Programme de recherches gravimetrique dans les regions vésuviennes. Comptes rendus des séances de la première réunion de la commission permanente de l'Association internationale de Sismologie, réunie a Rome, 1906.

A Balaton nivófelülete s azon a nehézség változásai; 1908. A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. I. kötet 1. rész. Geofizikai függelék. — Der Aufsatz stimmt wesentlich mit dem nächstfolgenden.

Die Niveauflächen und die Gradienten der Schwerkraft am Balatonsee. Resultate der wissenschaftlichen Erforschung des Balatonsees, 1908, I. Band, 1. Teil, Geophysischer Anhang. — In der Einleitung behandelt *Eötvös* die Theorie der Methode in elementarer Weise.

Bericht über geodätische Arbeiten in Ungarn, besonders über Beobachtungen mit der Drehwage; Verhandlungen der XVI. allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung in London und Cambridge. 1909. — Auch französisch erschienen.

Bericht über Arbeiten mit der Drehwage, ausgeführt im Auftrage der königlich ungarischen Regierung in den Jahren 1909—1911. Verhandlungen der XVII. allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung in Hamburg 1912.

Der Flug der Insekten und der Vögel[1]).

Von Dr. Ing. Wilhelm Hoff,
Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt E. V., Adlershof.

Für einen Flugzeugtechniker ist es von Interesse, auch einmal von den Forschungen zu erfahren, welche die Zoologen im Insekten- und Vogelflug angestellt haben. Die Demollsche Arbeit gibt hierüber einen Aufschluß. Das Büchlein teilt eine große Anzahl mühevoller und ergebnisreicher Versuche und die an diese angeschlossenen Schlußfolgerungen mit, die nicht ohne Stellungnahme von seiten der Flugzeugtechnik bleiben dürfen.

Der Verfasser hat leider die neueste aerodynamische Literatur unberücksichtigt gelassen und nur solche Bücher zu seinen Arbeiten herangezogen, welche in der Flugzeugtechnik größtenteils

[1]) Bemerkungen zur Abhandlung gleichen Namens von *Reinhard Demoll*, o. Professor an der Universität München. Verlag von Gustav Fischer, 1918.

als überholt gelten. Die Luftwiderstandsgesetze sind in den letzten acht Jahren durch zahlreiche Versuche in deutschen (Modellversuchsanstalt für Aerodynamik, Göttingen) und ausländischen Versuchsanstalten genauer erfaßt, experimentell berichtigt und theoretisch begründet worden. Sie zeigen, daß es oft unzulässig ist, ohne Nachprüfung für den besonders behandelten Fall Gesetze zu verallgemeinern. Das Avanzinische Gesetz[2]) zum Beispiel, das nur für ebene Platten gilt, kann nicht ohne weiteres auf Insektenflügel angewendet werden[3]), da man nicht weiß, ob die Insektenflügel, was unwahrscheinlich ist, bei ihrer Betätigung eben bleiben oder sich infolge der Durchbiegung während der Belastung wölben. Die neuere Literatur bringt ferner auch die Untersuchungen über das Optimum der Wölbung und der Abmessungen der Flügel zur Fluggeschwindigkeit, die *Demoll* in seiner Abhandlung vermißt[4]). Ohne solche Messungen wäre nämlich niemals der heutige Stand unserer Flugzeugtechnik erreicht worden[5]). Der Flugzeugtechniker tut gut daran, sich die wertvollen experimentellen Angaben *Demolls* für seinen Gebrauch umzuarbeiten, er gewinnt dann ohne große Mühe wichtige Schlüsse, die in der Abhandlung noch nicht gezogen sind.

Die Tabellen 1 und 2 enthalten Angaben über die Gewichte, den Flächeninhalt des Schattenbildes bei Beleuchtung von oben, welcher demjenigen der Flügel allein nahekommt, die Tragfläche auf das Gramm Tiergewicht, die Schlagfolge in der Sekunde sowie die gemessenen Geschwindigkeiten verschiedener Tiere. Sie sind, soweit sie Angaben über gleiche Tiere enthalten, miteinander vereinigt worden. An Stelle des in Spalte 4 der Tabelle 1 nicht gebräuchlichen Vergleichswertes $\frac{F}{A}$ ist der in der Flugzeugtechnik übliche Wert $\frac{A}{F}$ in kg/m² gesetzt worden. Die Flugleistungen der verschiedenen aufgeführten Tierarten lassen sich miteinander auf Grund der für den Auftrieb A (kg) eines Flugzeuges von *Prandtl* eingeführten, allgemein gültigen Formel vergleichen[6]):

$$A = c_a \cdot \frac{\gamma}{2g} \cdot F \cdot v^2.$$

Hierin sind der Auftrieb A in kg, die Flügelfläche F in m², die Fluggeschwindigkeit v in m/sek, die Luftdichte γ in kg/m³ (in Bodenhöhe etwa 1,23 kg/m³), die Erdbeschleunigung $g = 9{,}81$ m/sek² und c_a ein dimensionsloser Beiwert, welcher zur Beurteilung der Tragfähigkeit eines Flugzeugflügels geeignet ist. Dieser Beiwert ist bei Flugzeugflügeln abhängig von dem Anstellwinkel, unter welchem der Flügel von der Luft angeströmt wird, und der Gestaltung des Flügels. Der Wert $\frac{\gamma}{2g}$ ist mit $\frac{1.23}{2 \cdot 9{,}81} = \frac{1}{16}$ genau genug festgelegt. Es wird demnach

$$c_a = \frac{16 \cdot A}{v^2 \cdot F}.$$

Demoll, Teile der Tabellen 1 und 2 zusammengezogen.

Lfd. Nr.	Name	Gewicht A g	Fläche F cm²	Flugzeuggeschwindigkeit v in m/sek.	$A:F$ kg/m²	v^2 im Mittel	c_a
31	Spatzen	27	134	12 ÷ 15	2,01	180	0,179
27	Mistkäfer	0,9089	5,90	7	1,525	49	0,498
20	Honigbiene	0,0670	0,90	3,7	0,745	13,7	0,871
6	Schwalbenschwanz	0,2350	16,90	3,5 : 4	0,139	14,0	0,159
22	Maikäfer	0,6668	8,15	2,2 ÷ 3	0,820	6,75	0,195
26	Schlammfliege	0,0882	0,66	2,7	1,335	7,30	2,930[1])
18	Schmeißfliege	0,0650	1,18	2,7	0,550	7,30	1,205
14	Stubenfliege	0,0115	0,31	2,0 ÷ 2,3	0,371	4,62	1,285
2	Weißling	0,1000	15,80	1,8 ÷ 2,3	0,0632	3,25	0,310
3	Weißling	0,0818	9,78	1,8 ÷ 2,3	0,0837	5,30	0,253

Sämtliche c_a-Werte werden etwas größer, wenn an Stelle des Schatteninhalts des ganzen Tieres nur derjenige der Flügel eingesetzt wird.

[1]) Der Wert der Schlammfliege fällt heraus, vielleicht wegen ungenauer Bestimmung der Geschwindigkeit oder der Flügelfläche.

[2]) Bei ebenen Platten wandert der Schnittpunkt der Luftdruckresultierenden mit der Platte („Druckpunkt" genannt) zur Plattenvorderkante, wenn der Winkel der Luftströmung mit der Platte („Anstellwinkel" genannt) abnimmt. Dieses Gesetz wird von manchen Autoren als das Avanzinische bezeichnet. Bei gewölbten Platten ist die Druckpunktswanderung mit abnehmendem Anstellwinkel rückwärts gerichtet, also umgekehrt. *Demoll* spricht das Avanzinische Gesetz in anderen Worten aus. Da nämlich der Druck auf eine Platte mit abnehmendem Anstellwinkel abnimmt, ist zur Erzielung des gleichen Druckes eine Vergrößerung der Geschwindigkeit notwendig. Es läßt sich infolgedessen auch, wie *Demoll* dies tut, sagen, mit zunehmender Geschwindigkeit rückt der Druckmittelpunkt der Vorderkante näher.

[3]) Seite 13 unten.

[4]) Seite 12 unten.

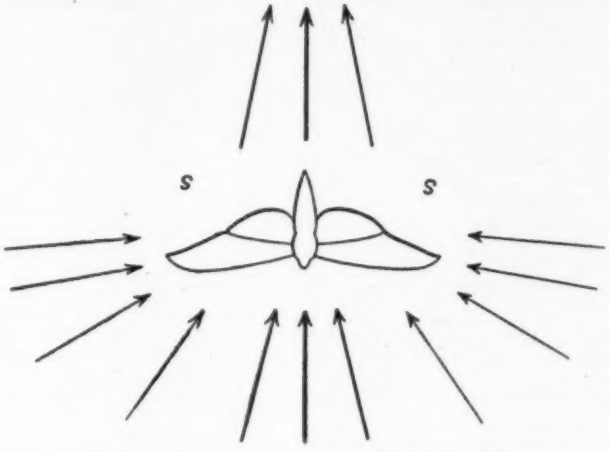
[5]) Vergleiche die Abhandlung: „Einführung in die Theorie der Flugzeugtragflügel" von Dipl.-Ing. *Albert Betz*, Göttingen. „Die Naturwissenschaften", Jahrgang 1918, Heft 38 und 39.

[6]) *Demoll* schreibt an Stelle von „A" den Buchstaben „P".

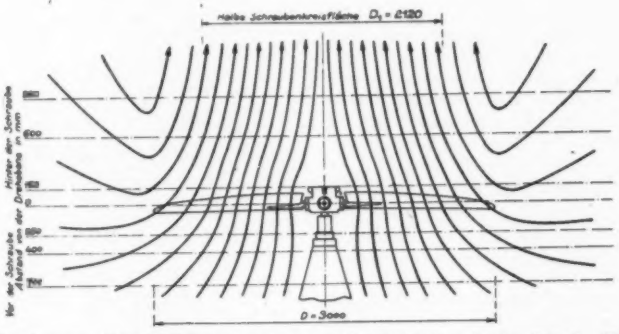
Die Beurteilung der c_a-Werte ist von Bedeutung. Sie sind von derselben Größenordnung wie

diejenigen, welche im Flugzeugbau erreicht werden. Diese Tatsache läßt die Folgerung zu, daß es ungerechtfertigt ist, derart grundsätzliche Unterschiede zwischen Insekten-, Vogel- und Flugzeugflug gelten zu lassen, wie sie Demoll zwischen den ersten beiden aufbaut. Aus dieser Übereinstimmung der c_a-Werte ergibt sich, daß die Insekten ihre Flügel aerodynamisch in ähnlicher Weise ausnutzen, wie die Vögel und Flugzeuge. Die Insekten können somit als Flugzeuge mit besonders kleiner Geschwindigkeit und infolgedessen auch geringer Flächenbelastung aufgefaßt werden. Wenn sich trotzdem beispielsweise der c_a-Wert der Stubenfliege mit demjenigen des Spatzen nicht deckt, so braucht das nicht zu erstaunen. Ein Spatz im wagerechten Flug ist noch nicht an der Grenze seiner Tragfähigkeit, er benutzt infolgedessen unbewußt ein kleineres c_a, genau so wie im Flugzeugbau für gering belastete, aber steigfähige Flugzeuge beim wagerechten Flug in Bodennähe kleine c_a-Werte angewendet werden. Die Stubenfliege scheint dagegen eher an der Grenze ihres Flugkönnens zu sein und besitzt deshalb einen hohen c_a-Wert, genau so, wie wir es beispielsweise von den hochbelasteten gepanzerten Flugzeugen her kennen.

Die Gegenüberstellung Taube—Stubenfliege[7]), welche ja auch *Demoll* zu keinem Ergebnis geführt hat, ist nicht haltbar. Im Flugzeugbau, wo durch eine Fülle von Einzelmessungen die Teilflugwiderstände erforscht worden sind, ist es nur mit Mühe möglich, die Gesamtflugwiderstände richtig zu erfassen. Für ein In-



Demoll, Der Flug der Insekten und der Vögel. Fig. 6 c.



F. Bendemann, Der Strömungsvorgang an der Luftschraube im Stand. Fig. 1.

sekt, bei welchem gar keine Widerstandsmessungen vorliegen, ist dies zurzeit unmöglich.

Demoll hat für den Insektenflug neue Flug- und Stabilitätstheorien aufgestellt, denen ein Flugzeugtechniker sich nicht anschließen wird. Der Flugzeugbau ist erst in der letzten Zeit so weit gekommen, daß er die Längs- und Seitenstabilität der Flugzeuge erfassen kann. Dabei sind diese Probleme gegenüber dem

[7]) Seite 9—11.

Schlagflügelflug verhältnismäßig einfach. Es erscheint deshalb gewagt, Stabilitätstheorien für das unerschlossene Gebiet des Insektenfluges bis ins einzelne auszubilden. Die mechanischen Betrachtungen des Verfassers zeigen schwerwiegende, alle späteren Folgerungen in Frage stellende Lücken, deren Richtigstellung im einzelnen hier zu weit ginge.

Aus der großen Fülle der mitgeteilten Versuchsergebnisse sei noch auf eine Gruppe hingewiesen, die ein größeres Interesse, welches über den Zoologenkreis hinausgehen muß, erreicht. *Die Darstellungen der Strömungsvorgänge der Luft im Bereiche eines flatternden Insekts zeigen, daß eine nahezu vollständige Übereinstimmung einer solchen Strömung mit derjenigen im Bereiche einer Luftschraube besteht.*

Aus der Demollschen Arbeit ist die Fig. 6 c auf Seite 31 hier erneut wiedergegeben und die Fig. 1 aus dem Aufsatz *„Der Strömungsvorgang an der Luftschraube im Stand"* von *F. Bendemann, Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschifffahrt, Jahrgang 1918*, Seite 2, danebengesetzt, welche Zeichnung die Strömung um eine Luftschraube im Stand wiedergibt. Ihr Vergleich zeigt, daß die Luft bei beiden von vorne und den Seiten zufließt und daß eine Strahlzusammenziehung sowohl hinter der Luftschraube als auch hinter dem Insekt entsteht. Diese Übereinstimmung ist erstaunlich und wieder auch nicht. Wir Flugzeugtechniker wissen, daß die Luftschraube ein fast ideales Hilfsmittel ist, um den für ein Luftfahrzeug notwendigen Schub zu erzeugen. Warum sollte die Natur den Insekten in ihren Flügeln nicht auch ein vollkommenes Werkzeug gegeben haben, das dieselbe Wirkung ausübt? *Daraus, daß die Luftströmung hinter einem flatternden Schmetterling geordnet ist und sich weitgehend mit dem Strahl hinter einer Luftschraube vergleichen läßt, dürfen wir schließen, daß die Schlagbewegungen eines Insekts in ihrer Art vollkommen sind.* Die Versuche in dieser Richtung fortzusetzen, würde sicher von allgemeinem Interesse sein, doch würde sich dann empfehlen, wenn es möglich ist, die Tiere in der Weise zu fesseln, daß ihre Reaktion auf die Haltevorrichtung feststellbar ist. Wenn weiter die Versuche in einem schwachen, der Fluggeschwindigkeit des Insekts angemessenen Luftstrom durchgeführt werden, so kann alsdann der Flugzustand des Insekts eher nachgeahmt werden als im Standversuch, der nur den Beginn eines Fluges darstellt.

Auf einen Irrtum möge noch hingewiesen werden. Beim Flugzeug- und beim Vogelflug wird die Resultierende sämtlicher Luftkräfte aus etwa ⅔ Saugkräften und nur aus etwa ⅓ Druckkräften erzeugt. Man kann daher hierin keinen Unterschied zwischen dem Insektenflug und dem Vogelflug suchen und etwa annehmen, daß beim Insekt reine Saugwirkungen und ausgesprochene Druckwirkungen beim Vogel auftreten.

Alles in allem stellt die Abhandlung eine Sammlung zahlreicher anschaulicher Versuche dar, welche allgemeinen Wert besitzen. Die an die Versuche geknüpften Folgerungen bedürfen zwar einer Überprüfung unter Berücksichtigung der neueren Flugzeugtechnik. Die mitgeteilten Beispiele haben gezeigt, daß eine nachweisbare Verwandtschaft des Insektenfluges mit dem Flug der Flugzeuge besteht, die geeignet ist, das Interesse an den Untersuchungen auf weitere Kreise zu lenken.

Besprechungen.

Demoll, Reinhard, Der Flug der Insekten und Vögel. Jena, Gustav Fischer, 1918. 69 S., 5 Tafeln und 18 Abbildungen im Text. Preis geh. M. 4,50.

Die verschiedenen Flugarten, die wir unter dem Namen Drachenflug, Flatterflug, Schwebeflug, Schwingenflug, Gleitflug, Segelflug, Ruderflug, Schwirrflug usw. kennen, führt *Demoll* auf zwei Begriffe zurück, indem er das Hauptgewicht auf die Fort- und Hubbewegung legt. Als *Drachenflug* bezeichnet er eine Bewegung, bei der das Primäre die Vorwärtsbewegung, das Sekundäre die Hubbewegung ist. Segelflug und Gleitflug sind nur Phasen dieser Flugart. Demgegenüber steht der *Hubflug*. Hier ist das Primäre das Heben, das Sekundäre die Fortbewegung. Diese Art wurde bisher als Ruderflug bezeichnet und wird hauptsächlich von den Schrauben- und Schwirrfliegern ausgeführt. „Der Flug der größeren Vögel läßt sich nur aus den Prinzipien des Drachenfluges verstehen, der Insektenflug nur aus denen des Hubfluges." Rationeller ist der Drachenflug. Hier sind nur ¾ der Arbeit des Hubfluges nötig. Trotzdem kann man nicht ohne weiteres den Schluß ziehen, daß für die Insekten der Hubflug unrationell wäre. „Wir haben zunächst zu prüfen, ob der Drachenflug für die Insekten nicht irgend welche Nachteile in sich bergen würde, die für größere Formen wie die Vögel nicht in Betracht kommen."

Die nach der Klärung der Begriffe folgende teleologische Untersuchung, zu der verschiedene zum Teil neue Versuche angestellt wurden, legt das Hauptgewicht auf den Insektenflug, da unsere Kenntnisse bezüglich der Vögel schon ziemlich weit fortgeschritten sind.

Fußend auf den Untersuchungen von *De Lucy* und *Mouillard*, die den Satz aufstellten, daß ein Tier für das g eine um so kleinere relative Segelfläche hat, je größer es ist, erläutert *Demoll* in einer Tabelle, daß die Insekten hinsichtlich der Tragfläche pro g günstiger gestellt sind als die Vögel. Bei der Bestimmung der Schwebefähigkeit der Insekten spielt das absolute Gewicht eine geringere Rolle als bei den Vögeln. Mit abnehmender Schwebefähigkeit steigt die Zahl der Flügelschläge. Da man nun einerseits den Schluß ziehen kann, daß der Hubflug überhaupt erst möglich ist, wenn nur geringe Schwebefähigkeit vorhanden ist oder andererseits, daß der Drachenflug für kleine Flieger von Nachteil ist, weil sie nicht rasch genug vorwärts kommen, sucht der Verfasser zunächst die Frage zu beantworten, *inwiefern die Insekten zum Drachenflug ungeeignet sind.*

Für das Segeln ist maßgebend, daß der Druck, der auf eine Fläche ausgeübt wird, proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit ist. Man darf für die Vögel im allgemeinen 15 m in der Sekunde annehmen. In einer Tabelle sind die Geschwindigkeiten für 36 In-

sekten und 6 Vögel angegeben, die gemessen wurden, als die Tiere in einem einseitig beleuchteten Raum zum Licht flogen. Es ergibt sich, daß eine Stubenfliege eine 42 mal größere Flügelfläche pro g besitzen müßte, wenn sie zu einem Drachenflug befähigt sein sollte. Zu *dieser niederen Geschwindigkeit* kommt *das geringe Beharrungsvermögen der Insekten.* Dieses setzt sich zusammen 1. aus der lebendigen Kraft, die der Masse proportional ist und mit ihr im Kubus wächst, und 2. aus dem Luftwiderstand, der im großen und ganzen proportional der Vorderfläche ist. Bei den Insekten ist die Masse der Flügel bedeutungslos, dagegen sind die Flügel relativ größer als bei den Vögeln. Es fehlt demnach die Wucht, und das Beharrungsvermögen ist geringer als bei diesen. Dazu kommt noch die Reibung und die Zähigkeit der Luft. Der Koeffizient der Oberflächenreibung ist für kleine Platten und kleine Geschwindigkeiten größer als für große Platten und große Geschwindigkeiten. Reibung und Zähigkeit sind außerdem viel weniger von der Körperform abhängig als der Widerstandsdruck. Deswegen sind wohl die meisten Insekten nur schlecht an das Durchschneiden der Luft angepaßt. Zur Erläuterung wird das Beharrungsvermögen einer Taube gegenüber dem einer Schmeißfliege theoretisch errechnet. Bei der Taube vergehen etwa 708 Sek, ehe ihre Geschwindigkeit von 2 Sek/m auf 1 Sek/m herabsinkt. In dieser Zeit legt sie einen Weg von über 1 km zurück. Bei der Fliege spielt sich das gleiche in 1,8 Sek ab. Dabei legt sie einen Weg von 2,7 m zurück.

Außer den angeführten Gründen spielt noch *der Wölbungsgrad der Flügel* und *die Art der Stabilität* eine Rolle. Gewölbte Flügel fehlen den meisten Insekten, sind aber für die Fortbewegung von Flächen beim Drachenflug von wesentlicher Bedeutung. Während die Vögel passiv und rein mechanisch stabil sind, da ihr Körperschwerpunkt vor dem Druckmittelpunkt liegt, geht den Insekten eine mechanische Longitudinalstabilität ab. Ihr Schwerpunkt liegt entweder unter oder zum Teil sogar sehr weit hinter dem Druckmittelpunkt. Über eine aktive Longitudinalstabilität durch Verschiebung der Flügel aber ist so gut wie nichts bekannt. Das Insektenabdomen kann nicht dem Schwanzsteuer der Vögel analog sein, weil ihm die Beweglichkeit fehlt, und weil es durch die Lage des Schwerpunktes vollständig Druck von unten erhält. Die Insekten fliegen im stabilen Gleichgewichtszustand, der sie auf physiologisch-reflektorische Regulationen verzichten läßt. Die Stabilität um die Flugachse kann bei einer Durchbiegung der Flügelenden bewerkstelligt werden. Libellen und Fliegen sind imstande, außerordentlich schnell auf der Stelle zu drehen. Dies gelingt ihnen, weil ihr Schwerpunkt in der Drehachse oder doch wenigstens ihr sehr nahe liegt. Bei den Fliegen liegt er zwischen den Halteren, und vielleicht sind diese an den schnellen Wendungen beteiligt.

Der zweite Teil der Untersuchung befaßt sich mit der Frage: *Warum ist der Hubflug bei den Insekten weniger unrationell als bei den Vögeln?*

Mit abnehmender Schnelligkeit steigt bei den Insekten die Zahl der Flügelschläge. Passive Schweber (große Schmetterlinge) haben eine niedere Frequenz, sind aber, was Schnelligkeit anbelangt, die schlechteren Flieger. Umgekehrt haben die passiv schlechten Schweber hohe Frequenzen und sind bessere Flieger. Beim Hubflug reiht sich ein ständiges Steigen und Fallen aneinander. Zwischen zwei Flügelschlägen fällt das Tier um so tiefer, je größer die Pause ist. Umgekehrt *steigt es um so leichter, je höher die Schlagfolge* ist, d. h. es arbeitet um so leichter beim Hubflug. Ein zweiter Vorteil ist *die relative Länge und Größe der Flügel.* Der Luftwiderstand wächst ja im Quadrat, wenn der Flügel sich linear vergrößert. „Die hohe Schlagfolge der Insekten hat also zur Folge, daß der Körper mit geringerem Kraftaufwand gehoben wird dadurch, daß in Summa eine geringere Fallhöhe zu überwinden ist, und weiter wird die hohe Frequenz gefordert, um eine genügend hohe Winkelgeschwindigkeit der Flügel zu erzielen." So muß also der Hubflug um so mehr zu einem Schwirrflug werden, je rationeller er als Hubflug ist. Für den Hubflug ist der Schwirrflug am günstigsten, für den Drachenflug am ungünstigsten.

Durch Versuche ging *Demoll* weiterhin der Frage nach, in welcher Weise die Luft durch den Flügelschlag beeinflußt wird. Er verfolgte nicht nur, wie der Flügel die Luft von sich wegschiebt, sondern besonders auch, von welcher Seite sie ihm zuströmt. Dazu benutzte er einen einer Rechenmaschine ähnlichen Rahmen, auf dem statt der Stäbe Federkiele mit feinsten Federchen von Eulen gespannt waren. Die Versuchstiere wurden zunächst in verschiedener Stellung vor dem Apparat fixiert. An den Federchen konnten dann die leisesten Luftströmungen abgelesen werden. Aus einer Anzahl beigegebener, gut gelungener Aufnahmen ist zu erkennen, daß der Hauptstrom von vorn oben zufließt und mit geringem Anstieg nach hinten weiterwandert. Die Richtung der zu- und abströmenden Luft bildet also einen Winkel. Da das Hinströmen der Luft senkrecht zur Gleitbahn des Flügels, das Abströmen aber schwach geneigt zur Bewegungsrichtung erfolgt, so müßte man eine Abknickung nach hinten, nicht nach vorn erwarten. Versuche mit frei fliegenden Tieren zeigten aber, daß auf den Vorderflügeln beim Heben ein starker Druck liegt. Durch den Aufwärtsschlag wird die Luft nach hinten oben geworfen, wodurch der Vortrieb erzeugt wird. Bei zunehmender Geschwindigkeit strömt die Luft von oben immer steiler zu, bis sie direkt von oben kommt. Der Schlag nach aufwärts treibt das Tier nach vorn, der Niederschlag aber hält es in der Höhe. Der Vortrieb ist um so kräftiger, je bessere Flieger die Insekten sind.

Die Hubwirkung beim Abwärtsschlag ist die Resultante aus zwei Kräften: dem Widerstandsdruck während des Schlages und der Saugkraft des luftverdünnten Raumes über den Flügeln. Die Saugwirkung gleicht also den ständigen Wechsel zwischen Steigen und Fallen des Tieres aus.

Der Unterschied zwischen Insekt und Vogel läßt sich folgendermaßen ausdrücken: *Der segelnde Vogel liegt auf der Luft, das Insekt hängt in der Luft; jenes wird von der Luft getragen durch Vermehrung des Druckes von unten, dieses wird von der Luft angesaugt durch Verminderung des Druckes von oben.* Da bei dem Insekt die Vorwärtsbewegung auf Kosten der Hebewirkung geht, beim Vogel aber erst durch die Vorwärtsbewegung eine Hebewirkung erzielt wird, so erfordert das Fliegen des Insektes an Ort, das des Vogels von Ort den geringeren Kraftaufwand.

Um ein Urteil über die verschiedenen physiologisch wirksamen Abschnitte der Flügelfläche zu erlangen, entfernte *Demoll* Teile der Flügel und beobachtete den Flug und seine Geschwindigkeit. Bei Tagfaltern war in der Wirksamkeit der Vorderflügel für sich kein Unterschied gegenüber den Hinterflügeln zu bemerken. Eine Entfernung der Flügelspitzen beeinträchtigte die Geschwindigkeit stets stärker als die Entfernung irgend

welcher anderer Teile. Gestutzte Tiere lernten übrigens bald den Verlust durch stärkeren Flügelschlag wettzumachen.

Ähnlich wie die Insekten verhalten sich die kleineren Vögel (Singvögel). Hier tritt das Prinzip des Drachenfluges stark zurück gegenüber dem Hubflug.

Der Flug der Käfer wird in einem gesonderten Abschnitt behandelt, da hier zwei physiologisch verschiedene Flügel (Deckflügel und häutige Flügel) vorhanden sind. Nach der Meinung des Verfassers beteiligen sich die Elytren am Flug, obwohl ihre Amplitude wesentlich geringer ist als die der Hinterflügel. Ihre völlige Entfernung bewirkt eine starke Überkompensation der Geschwindigkeit. Daraus folgt, daß eine Steigerung der Elytrentätigkeit keinen Geschwindigkeitszuwachs bedingt, d. h. daß die Elytren sich an der Vorwärtsbewegung nicht beteiligen. Sie bewirkten nur eine Hebung. Der Einfluß der Wölbung der Elytren kann nur als gering bezeichnet werden.

Gegenüber den meisten Insekten, denen ein geringes Beharrungsvermögen zukommt, und deren Schwerpunkt *hinter* dem Druckmittelpunkt liegt, vermögen die Tagschmetterlinge den Schwerpunkt *vor* den Druckmittelpunkt zu verlagern. Sie können kurze Strecken durchsegeln und im Gleitflug niedergehen. Dies gelingt aber nur, wenn die Vorderflügel ziemlich weit nach hinten geschoben werden. Dann wird der Schmetterling zu einem völlig stabilen Apparat, wie sich an getöteten und in der erforderlichen Lage gespannten Tieren nachweisen läßt. Von den untersuchten Tieren besaßen die Schwalbenschwänze eine erheblich bessere Gleitfähigkeit als Weißlinge mit der gleichen Schwebfähigkeit. Der Grund liegt in der schlanken Form des Hinterflügels bei den ersten. Die Form der Flügel der Tagschmetterlinge spielt also beim Gleitflug eine wichtige Rolle. Dagegen ließ sich ein Einfluß der schwanzartigen Anhänge der Hinterflügel auf den Flug nicht nachweisen.

Aus der Darstellung *Demolls* geht hervor, daß er das Problem des Insekten- und Vogelfluges hauptsächlich vom aerodynamischen und mechanisch-technischen Standpunkt aus behandelt hat. Es wird eine Reihe neuer Gesichtspunkte mitgeteilt, wenn auch die Befunde nach der angedeuteten Richtung unter Berücksichtigung unserer Kenntnisse nicht völlig ausgewertet sind. Die Heranziehung der anatomischen Verhältnisse des Flugapparates und seiner Leistungen im einzelnen, worüber eine ganze Anzahl neuer Untersuchungen vorliegt, hätte die Darstellung vertieft und vor manchen Ungenauigkeiten und einseitigen Schlüssen bewahrt. In seinen verschiedenen Untersuchungen, namentlich aber 1913, hat *Voß* die Faktoren mitgeteilt, auf Grund deren ein abgerundetes Bild über das ganze Problem gewonnen werden kann. Über die Saugkraft des luftleeren Raumes hat *Bauendahl* 1911 allerdings in etwas absonderlicher Weise geschrieben. Bezüglich der Art der Steuerung der Insekten liegen Untersuchungen des Referenten 1916 vor, in denen nachgewiesen ist, daß die häutigen Flügel als Drucksteuer wirken und aktiv regulatorisch arbeiten. Auch die Untersuchungen von *Nimführ* und *Barnickel*, wenn sie auch etwas weiter abliegen, gehören hierher. Es sei gestattet, hier nur auf die Frage der Bedeutung der Käferdeckflügel einzugehen, da der Verfasser seine Ansicht von deren Wirksamkeit als echte Flügel noch an anderer Stelle betont hat. *(Die Auffassung des Fliegens der Käfer — eine zoologische Irrlehre*, im Zool. Anzeiger 1918, S. 285.) Er geht hier noch weiter wie in seinem Buche. „Die Elytren beteiligen sich am Fluge in derselben Weise wie die häutigen Flügel." Mit dieser Ansicht stimmt er nur mit einem einzigen der vielen Autoren überein, die über diese Frage nachgedacht haben, nämlich mit *Chabrier* aus dem Jahre 1821, dem die anatomischen Verhältnisse des Käferthorax noch nicht bekannt waren. Aus dem Bau der Flügelachsel, der Größe und Lage der ansetzenden Muskeln, der schwächlichen Beschaffenheit des Mesothorax und dem mechanischen Verhalten der Deckflügel folgt jedoch, daß diese Ansicht nicht haltbar ist. Der Referent hat dies eingehend begründet (Zeitschrift für wissensch. Zoologie 1914, siehe auch Naturw. Wochenschrift 1914, S. 97): Ein wirksamer Flügel muß neben anderen Eigenschaften notwendigerweise einen steifen Vorderrand und eine nachgiebige Fläche besitzen, wenn er den Luftwiderstand wirksam ausnützen soll. Außerdem muß er energische und wirksame Schläge und ganz bestimmte Drehbewegungen ausführen. Aber der Deckflügel stellt eine gleichmäßig dicke, unelastische Platte vor, die nur geringe Ausschläge machen kann und vertikal beweglich ist. Die Analyse des Flugapparates und zahlreiche verschiedenartige Versuche führen zu dem Ergebnis, daß die Elytren weder als wirksame Flügel noch etwa als Tragflächen oder Gewichtssteuer, sondern wohl nur als Stabilisierungsflächen aufzufassen sind. Sie wirken durch ihre Fläche und die bei schneller Fortbewegung des Tieres sekundär erzeugte lebendige Kraft des Luftwiderstandes, die den Körper beim Flug aus der mehr vertikalen Lage in eine mehr horizontale Lage bringt.

F. Stellwaag, Neustadt a. d. H.

Berichte gelehrter Gesellschaften.

Sitzungsberichte der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

5. Oktober. Sitzung der mathematisch-physikalischen Klasse.

Herr *R. Emden* spricht *Über abnorme Hörbarkeit.*

Derselbe legte vor eine Abhandlung: *Über elektrische Wellen in geschichteten Medien.* Untersucht wurde das Fortschreiten elektromagnetischer Wellen in einem geschichteten Medium mit kontinuierlich veränderlichem Brechungsexponenten. Die theoretische Lösung zeigt, daß auch unter diesen Umständen die Strahlungsintensität konstant bleibt; gleichzeitig gestattet sie eine Behandlung des Reflexionsproblems durch Annahme einer Übergangsschicht an der Berührungsfläche zweier Medien. (Erscheint in den Sitzungsberichten.)

2. November. Sitzung der mathematisch-physikalischen Klasse.

Herr *S. Günther* legte einen für die Sitzungsberichte bestimmten Aufsatz vor: *Über eine ostafrikanische Naturkatastrophe.* Diese fand im Frühjahr 1912 statt und hatte zur Folge, daß das in der Landschaft Urundi gelegene Tal des Ruvnonflusses durch gewaltige Wassermassen von einem darin wuchernden Papyrussumpfe vollkommen rein gefegt wurde. Die Erscheinung scheint übereinzustimmen mit den namentlich aus Irland wohlbekannten „Moorbrüchen", die nach neueren Untersuchungen nicht eigentlich auf das Platzen von Torfmooren, sondern auf ein den Muhrbrüchen vergleichbares Vorkommnis zurückzuführen sind.

Für die Redaktion verantwortlich: *Dr. Arnold Berliner*, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin SW 9. — Druck von H. S. Hermann in Berlin SW.